

JP05173602 A

ADAPTIVE TYPE MODEL PREDICTIVE CONTROLLER

TOSHIBA CORP

Inventor(s): IINO MINORU

Application No. 03339173 JP03339173 JP, Filed 19911221, A1 Published 19930713

**Abstract:**

**PURPOSE:** To speedily follow up variation in command and obtain response characteristic having small hunting by using plural dynamic models identified with data series having different sampling periods and calculating an optimum controlled variable from a prediction output and step responses which vary over a wide range.

**CONSTITUTION:** The model predictive controller 2 is divided into an adaptive operation part 3 and a control arithmetic part 4. The adaptive operation part 3 inputs a manipulated variable (u) and the controlled variable (y) as input and output data of a process 1 and stores them in a response data storage part 71. At the same time, they are passed through N band-pass filters 5 having different passing bands and then made discrete by samplers 6, and response data obtained by the samplers 6 are stored in a response data storage part 72. Then a step response calculating means 9 calculates the step responses from the respective time-series models. Then the control arithmetic part 4 puts the step responses, calculated from the time-series models identified by Np identifying means 8, together while aligning the time bases to find one step response.

**COPYRIGHT:** (C)1993, JPO & Japio

Int'l Class: G05B01302;

Patents Citing this One: No US, EP, or WO patents/search reports have cited this patent.

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-173602

(43)公開日 平成5年(1993)7月13日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 5 B 13/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

D 9131-3H

J 9131-3H

審査請求 未請求 請求項の数4(全11頁)

(21)出願番号 特願平3-339173

(22)出願日 平成3年(1991)12月21日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 飯野 穰

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会社東芝総合研究所内

(74)代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

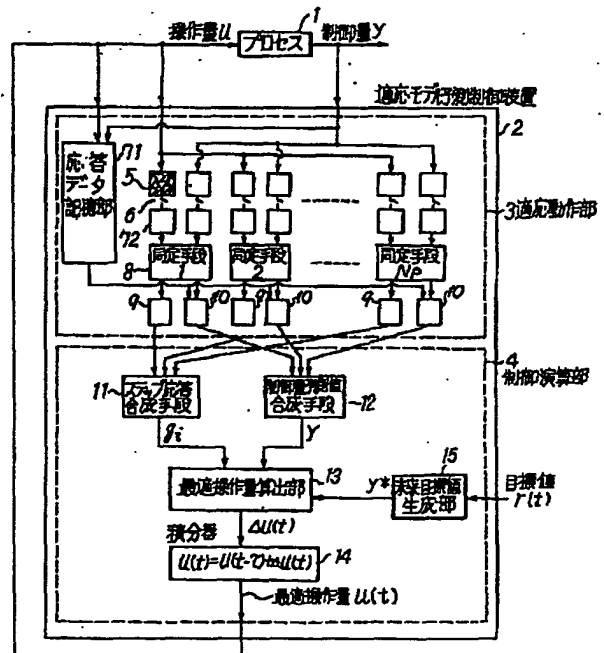
(54)【発明の名称】 適応型モデル予測制御装置

(57)【要約】

【目的】 広い予測範囲あるいは周波数帯域を考慮できる適応型モデル予測制御装置を提供する。

【構成】 サンプル間隔の異なる時系列データによって動特性モデルを同定して複数のモデルを得る同定手段、夫々のモデルによって推定した制御量予測値及び対象のステップ応答を繋ぎ合わせる手段、その結果を用いて最適操作量を制御周期毎に算出するモデル予測制御演算手段により構成される。

【効果】 広い予測範囲を考慮した適応型モデル予測制御ができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】制御対象の動特性モデルに基づき制御量未来値を予測し、運転指標となる評価関数を最小化するような操作量を前記制御対象の制御量と未来目標値から算出するモデル予測制御装置であって、

第1のサンプル周期によって収集された前記操作量及び前記制御量の時系列データを用いて前記動特性モデルを同定して第1動特性モデルを得る第1同定手段と、

第2のサンプル周期によって収集された前記操作量及び前記制御量の時系列データを用いて前記動特性モデルを同定して第2動特性モデルを得る第2同定手段と、

前記第1動特性モデルの第1ステップ応答を時間軸上の第1の範囲に亘って求める第1ステップ応答特性算出手段と、

前記第2動特性モデルの第2ステップ応答を時間軸上の第2の範囲に亘って求める第2ステップ応答算出手段と、

前記第1及び第2ステップ応答算出手段により得られたステップ応答各々を時間軸上で結合してより広範囲に亘るステップ応答を形成するステップ応答合成手段と、

前記第1動特性モデルに前記操作量及び前記制御量の時系列データを与えて時間軸上の第1の範囲に亘って制御量予測値を求める第1制御量予測手段と、

前記第2動特性モデルに前記操作量及び前記制御量の時系列データを与えて時間軸上の第2の範囲に亘って制御量予測値を求める第2制御量予測手段と、

前記第1及び第2制御量予測手段により得られた制御量予測値各々を時間軸上で結合してより広範囲に亘る制御量予測値を形成する制御量予測値合成手段と、

前記ステップ応答合成手段により形成されたステップ応答及び前記制御量予測値合成手段により形成された制御量予測値を用いて与えられた評価関数を最小化する最適操作量を算出して出力する最適操作量算出手段とを備えることを特徴とする適応型モデル予測制御装置。

【請求項2】前記第1及び第2のサンプル周期は対数表示された時間軸上において等間隔になるよう定められること特徴とする請求項1記載の適応型モデル予測制御装置。

【請求項3】前記ステップ応答合成手段は、前記時間軸上の前記第1の範囲及び前記第2の範囲が重複するとき、重複する範囲のステップ応答を前記第1及び第2ステップ応答の平均により求め、前記第1の範囲及び前記第2の範囲が離間するとき、離間している区間のステップ応答を前記第1及び第2ステップ応答の線形補間により求めることを特徴とする請求項1または2記載の適応型モデル予測制御装置。

【請求項4】前記制御量予測値合成手段は、前記時間軸

上の前記第1の範囲及び前記第2の範囲が重複するとき、重複する範囲の制御量予測値を前記第1及び第2制御量予測値の平均により求め、前記第1の範囲及び前記第2の範囲が離間するとき、離間している区間の制御量予測値を前記第1及び第2制御量予測値の線形補間により求めることを特徴とする請求項1、2または3記載の適応型モデル予測制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、制御対象の動特性モデルに基づいて制御応答の未来の動きを予測しそれを考慮しながら操作量を算出するモデル予測制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、プロセス制御の分野で、モデル予測制御装置がしばしば用いられる。モデル予測制御は、むだ時間の長いプロセスに対し安定した制御応答を実現できる、未来目標値を用いたフィードフォワード制御で追従性を改善できる、多変数プロセスへも適用可能で、非干渉制御が実現できる、制御対象の正確な動特性モデルを必要とせず、例えばステップ応答から、制御系を容易に構成できる、予測モデルにプラントの物理的法則や非線形特性を含めることにより、きめの細かい制御が期待できる等の特徴がある。

【0003】そこで、これまでに、数多くの予測制御方式が提案されてきた。これ等は例えば、

(1) 西谷：モデル予測制御の応用、計測と制御Vol.28, No.11, pp.996-1004(1989)

(2) D.W. Clarke & C. Mohtadi: Properties of Generalized Predictive Control, Automatica 25-6 pp.859(1989)等に解説されている。

【0004】一般的なモデル予測制御系の構成例を図3に示す。モデル予測制御演算部2では、まず制御対象であるプロセス1の時刻kにおける制御量 $y(k)$ と操作量 $u(k)$ を取り込み、応答データ記憶部7へ書き込む。制御量予測手段10は、応答データ記憶部7の過去から現在(時刻k)までの操作量 $u$ 、制御量 $y$ に基づき、未来の制御量応答の予測値 $y(k+L)$ , ...,  $y(k+N_p+L-1)$ を算出する。Lおよび $N_p$ は予測長である。これに対し、目標値 $r(k)$ を入力された未来目標軌道生成部15では、未来目標軌道 $y^*(k+L)$ , ...,  $y^*(k+N_p+L-1)$ を生成し、その差である未来制御偏差信号 $y(k+i)-y^*(k+i)$ 、( $i=L, \dots, N_p+L-1$ )を算出し、最適操作量算出部13に送られる。最適操作量算出部13では、代表的な例として、次の2次形式評価関数

$$J = \sum_{i=1}^{N_p+L-1} \{ D(z^{-1}) (y(k+i) - y^*(k+i)) \}^2 + \lambda \sum_{i=1}^{N_u} (\Delta u(k+i-1))^2 \quad (1)$$

を最小化する最適操作量増分  $\Delta u(k)$  を算出し、初めの  $\Delta u(k)$  のみ、積分器 14 へ送る。ここで、 $L$  および  $N_p$  は予測長、 $N_u$  は制御長、 $\lambda$  は重み係数、 $D(z^{-1})$  は極配置多項式と呼ばれるもので、 $D(z^{-1}) = 1$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (2)$$

により、実際の操作量  $u(k)$  を算出し、制御対象 1 へ出力する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上述した一般的なモデル予測制御系では、予測モデルは予め与えられているものとされている。しかし、現実にはプロセスの動特性が不明確だったり、経年変化や非線形特性により予測モデルが変化する場合があり、一つの予測モデルで常に良好な制御性能を保つのは困難な場合がある。そこで、プロセスの入出力データからプロセス動特性モデルを逐次同定し、予測モデルを逐次修正する適応型モデル予測制御方式が考えられる。これは、従来の適応制御方式とモデル予測制御方式を組み合わせたものである。

【0006】 従来の離散時間適応制御方式では、観測データのサンプリング周期は一種類であったため、対象の極めて広い周波数帯域に亘る特性を精度良く同定するのは困難であった。例えば、G. C. Goodwin, et. al.; "Indirect adaptive control: An integrated approach", Proceedings of ACC, pp. 2440-2445, 1988, L. Ljung; "System Identification-Theory for the User", Prentice-Hall, 1987 などでは、ほとんどの適応制御系でつかわれる最小 2 乗法では、サンプリング周期  $\tau$  の観測データに基づく同定では、周波数レンジ  $1/100\tau \sim 1/5\tau$  [Hz] の範囲しか精度の高い同定はできないことが指摘されている。従って、適応制御の起動時には、サンプリング周期  $\tau$  を対象の特性に応じて注意深く選定する手間が必要だった。しかし、現実には、対象の周波数特性は、事前には不明で、また複数のループを持つ制御系では、応答の速いループと遅いループが混在する場合、同時に両者の設計帯域をカバーする広い周波数帯域にわたり動特性モデルを精度良く同定することは困難であった。

【0007】 このような問題は、適応型モデル予測制御系でも同様に存在した。すなわち、予測モデルから、すぐ先の制御量未来値と、遠い未来の制御量未来値を同時に精度良く推定するためには、その予測モデルが広い周波数帯域に亘り高精度に同定されている必要があるが、上記の問題から、そのような予測は困難であった。

【0008】 もう一つの問題は、たとえ広い周波数帯域

+  $d_1 z^{-1} + \dots + d_n z^{-n}$ 、 $\Delta u(k+i)$  は未来操作量増分で、 $\Delta u(k+i) = u(k+i) - u(k+i-1)$  である。積分器 14 では、

にわたり高精度の予測モデルが得られたとしても、それらをカバーする制御系を構成するには、細かな制御周期かつ長い予測範囲を考慮しなければならず、扱う予測応答の個数が増大し、制御計算量は膨大になるという問題点があった。

【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、制御対象の動特性モデルに基づき制御量未来値を予測し、運転指標となる評価関数を最小化するような操作量を上記制御対象の制御量と未来目標値から算出するモデル予測制御装置において、第 1 のサンプル周期によって収集された上記操作量及び上記制御量の時系列データを用いて上記動特性モデルを同定して第 1 動特性モデルを得る第 1 同定手段と、第 2 のサンプル周期によって収集された上記操作量及び上記制御量の時系列データを用いて上記動特性モデルを同定して第 2 動特性モデルを得る第 2 同定手段と、上記第 1 動特性モデルの第 1 ステップ応答を時間軸上の第 1 の範囲に亘って求める第 1 ステップ応答特性算出手段と、上記第 2 動特性モデルの第 2 ステップ応答を時間軸上の第 2 の範囲に亘って求める第 2 ステップ応答算出手段と、上記第 1 及び第 2 ステップ応答算出手段により得られたステップ応答各々を時間軸上で結合してより広範囲に亘るステップ応答を形成するステップ応答合成手段と、上記第 1 動特性モデルに上記操作量及び上記制御量の時系列データを与えて時間軸上の第 1 の範囲に亘って制御量予測値を求める第 1 制御量予測手段と、上記第 2 動特性モデルに上記操作量及び上記制御量の時系列データを与えて時間軸上の第 2 の範囲に亘って制御量予測値を求める第 2 制御量予測手段と、上記第 1 及び第 2 制御量予測手段により得られた制御量予測値各々を時間軸上で結合してより広範囲に亘る制御量予測値を形成する制御量予測値合成手段と、上記ステップ応答合成手段により形成されたステップ応答及び上記制御量予測値合成手段により形成された制御量予測値を用いて与えられた評価関数を最小化する最適操作量を算出して出力する最適操作量算出手段とを備えることを特徴とする。

【0010】

【作用】 例えば、最小のサンプリング周期を  $\tau$  [sec]

とする。この周期でサンプリングしたデータから、通常の最小2乗法で同定される時系列モデルの有効な周波数特性推定範囲は、前述のように  $1/100\tau \sim 1/5\tau$  [Hz] あたりである。同様に、このモデルによる有効な予測範囲は、例えば  $\tau \sim 100\tau$  [sec] となる。そこで、他のサンプリング周期  $10\tau$  [sec] でサンプリングしたデータから最小2乗法で同定される時系列モデルの有効な周波数特性推定範囲は、 $1/1000\tau \sim 1/50\tau$  [Hz] である。同様に、このモデルによる有効な予測範囲は、 $10\tau \sim 1000\tau$  [sec] となる。

$$G(s) = (1 + 4s) / (1 + 2s + s^2) + 5e^{-0.25s} / (1 + s + s^2)$$

で表わされ、応答の速いモードと遅いモードが混在している。この対象に対し、上述の手法に従い、サンプリング周期  $\tau$  を、0.1秒、0.2秒、0.4秒、0.8秒の4通りに選び、夫々のサンプリング周期のデータによって同定したモデルの予測ステップ応答を真のプロセス応答と合せて図5(a)～(d)に示す。同図において、実線は真のプロセス応答を示し、点線は予測ステップ応答を示している。サンプリング間隔の短いモデルはステップのステップ応答の立上がり部分、すなわち、速いモードの特性を精度良く表わし、サンプリング間隔の長いモデルはステップ応答の定常特性、すなわち、遅いモードの特性を精度良く表している。これ等を繋ぎ合せれば、従来の単一のモデルによる推定よりもはるかに精度良くステップ応答あるいは予測応答を推定出来ることが判る。

【0012】また、それぞれの同定手段は、独立に同定に必要な量のデータに基づいて同定を実行するので、例えば細かいサンプリング周期による同定では使用するデータの時間軸上の範囲を狭くすることにより適応速度を高めることができ、粗いサンプリング周期による同定では使用するデータの時間軸上の範囲を広くすることにより長時間に亘るプロセス特性を少ない計算量でモデル化できる。

【0013】モデル予測制御では、設定した予測範囲に

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \{ \gamma(i) (y(k+2^{i-1}\tau) - y^*(k+2^{i-1}\tau))^2 + \lambda \sum_{i=1}^{N_p} (\lambda(i) \Delta u(k+2^{i-1}\tau))^2 \} \quad (2)$$

(ここで、 $\gamma(i)$ 、 $\lambda(i)$  は重み係数である。)

を設定し、これが最小となる最適操作量を制御周期毎に算出することを考える。

【0016】この結果、わずかに  $N_p$  点の予測値を扱うだけで、 $\tau \sim 2^{N_p-1}\tau$  に亘る長い予測範囲をカバーでき、しかも必要な制御演算量はせいぜい  $N_p^2$  のオーダーで納まるので、時定数の速いループと遅いループを含む多変数プロセスなどに適している。

【0017】また、(2)式の重み係数  $\gamma(i)$ 、 $\lambda$

によって、前者のモデルと合わせれば、 $1/1000\tau \sim 1/5\tau$  [Hz] の周波数特性、および  $\tau \sim 1000\tau$  の予測範囲が精度良く推定できる。このように、サンプリング周期の異なる複数の時系列モデルを複数の同定手段で同定し、得られた複数の時系列モデルをつなぎ合わせれば、広範囲に渡り高精度の周波数特性、あるいは、予測範囲を推定することができる。

【0011】この効果を示すために図4に示されるような複雑な形状のステップ応答の制御対象に対し、本手法を適用してみる。この対象は、

亘る制御量予測値およびステップ応答が最適操作量の計算に必要なが、上述の方法により、広い予測範囲に亘り高精度な制御量予測値およびステップ応答が求められる。

【0014】また、予め予測範囲やサンプリング周期の適切な値がわからない場合も、可能な限り最小のサンプリング周期、最大の予測範囲を取っておけば、良好な制御が期待できる。

【0015】さらに実際のサンプリング周期の選び方に関して説明する。最小サンプリング周期を  $\tau$  [sec] とし、以下例えば、 $2\tau$  [sec]、 $4\tau$  [sec]、 $\dots$ 、 $2^{N_p-1}\tau$  [sec] と  $N_p$  種類のサンプリング周期を選定する。これらは対数スケール軸のグラフにプロットすれば等間隔となるので、等対数間隔サンプリングと称することにする。これに対応し、 $N_p$  個の同定手段を用意し、結果として  $N_p$  個の時系列モデルが得られる。それぞれのモデルから最も推定精度の高いと想定される一点の制御量予測値としてそれぞれ  $y(t+\tau)$ 、 $y(t+2\tau)$ 、 $\dots$ 、 $y(t+2^{N_p-1}\tau)$  ( $t$  は現在時刻) を推定し、これらをモデル予測制御演算に用いる。モデル予測制御演算では、従来の(1)式のような一定時間間隔の予測値に関する評価関数のかわりに、等対数間隔サンプリング間隔の予測値に関する評価関

(i) を調整することにより注目したい予測レンジ、すなわち制御応答速度を広範囲に亘り自由に調整できる。例えば、高周波帯域を重視し、速応性を高めたければ、 $\gamma(1)$ 、 $\gamma(2)$ 、 $\dots$  等のステップ応答の立上り部分の重みを支配的にすればよい。逆に、低周波帯域を重視し、緩やかで安定した応答を実現したければ、 $\gamma(1) = \gamma(2) = \dots = 0$  と立上りの部分を無視するように重み計数を設定すればよい。特に、多変数系では、制御ループ毎

に重み係数を変えれば、ループごとに異なる応答速度を持たせた多変数モデル予測制御系が容易に実現できる。

【0018】

【実施例】図1に本発明のモデル予測制御装置2を示す。モデル予測制御装置2は、適応動作部3と制御演算部4に分けられる。適応動作部3では、プロセス1の入出力データである操作量 $u$ と制御量 $y$ を入力し、応答データ記憶部71へ記憶すると同時に、異なる通過帯域を

$$A_i(z^{-1})y(k) = B_i(z^{-1})u(k) + e(k) \quad (3)$$

$$(i = 1, \dots, Np)$$

ただし、

$$A_i(z^{-1}) = 1 + a_{i1}z^{-1} + \dots + a_{in}z^{-n}$$

$$B_i(z^{-1}) = b_{i1}z^{-1} + \dots + b_{in}z^{-n}$$

(ここで、 $z^{-1}$ は時間推移演算子である。)

$$g_i(0), g_i(1), \dots, g_i(N)$$

を算出する。算出方法は、

$$h_i(0) = 0$$

$$h_i(k) = b_{ik} - \sum_{j=0}^{k-1} h_i(j) a_{ik-j}$$

$$g_i(k) = \sum_{j=0}^k h_i(j) \quad (5)$$

により求められる。多変数プロセスの場合は、 $g$ 、 $h$ はすべて行列になる。

【0020】また、制御量予測手段10では、応答デー

$$u(t-2^{i-1}\tau), \dots, u(t-(m-1)2^{i-1}\tau)$$

$$y(t), y(t-2^{i-1}\tau), \dots, y(t-(n-1)2^{i-1}\tau)$$

(ここで、 $i = 1, \dots, Np$ 、 $t$ は現在時刻である。)

を抽出し、次の演算により、操作量が一定の場合の制御量予測値 $y(t+2^{i-1}\tau)$ を算出する。ここで、 $i =$

$$y(t+2^{i-1}\tau) = -a_{i1}y(t) - a_{i2}y(t-2^{i-1}\tau) - \dots$$

$$- a_{in}y(t-(n-1)2^{i-1}\tau)$$

$$+ b_{i1}u(t-2^{i-1}\tau) + b_{i2}u(t-2^{i-1}\tau) + \dots$$

$$+ b_{in}u(t-(m-1)2^{i-1}\tau) \quad (6)$$

ただし、多変数プロセスでは、 $y$ 、 $u$ は縦ベクトル、 $a_{ij}$ 、 $b_{ij}$ は対応するサイズの行列になる。以上が、適応動作部3における処理である。

【0022】次に、制御演算部4では、 $Np$ 個の同定手段により同定された $Np$ 個の時系列モデルから算出され

$$g(t), g(t+\tau), g(t+2\tau),$$

$$g(t+3\tau), \dots, g(t+2^{Np-1}\tau) \quad (7)$$

を求める。ここで、 $i = 1, \dots, Np$ 、 $t$ は現在時刻である。

【0023】具体的な合成方法は、(4)式のうち重なり合う部分は、それらの平均値を採用し、不足するデータは、両側の2点間からの補間計算により求める。この

$$g(t) = \alpha g_i(t) + (1-\alpha) g_{i+1}(t)$$

( $\alpha$ は、 $g_{i+1}(t)$ の左端で1、 $g_i(t)$ の右端で0である。)

により平均化して結合し、図6(c)に示される合成さ

持つ $Np$ 個のバンドパスフィルタ5を通した後、 $Np$ 種類の異なるサンプリング周期 $\tau, 2\tau, \dots, 2^{Np-1}\tau$ のサンプラ6によりそれぞれ離散化し、各サンプラにより得られる応答データを応答データ記憶部72へ記憶する。 $Np$ 個の同定手段8では、それぞれのサンプリング周期のデータ系列から、適切な長さの応答データを切り出し、最小2乗法で時系列モデル

を推定する。多変数プロセスの場合は、 $A_i(z^{-1})$ 、 $B_i(z^{-1})$ は行列になる。

【0019】次に、それぞれの時系列モデル(3)式より、ステップ応答算出手段9では、ステップ応答

(4)

記憶部71に蓄えられた過去の応答データから、対応するサンプリング周期のデータ

1, ...,  $Np$ である。

【0021】

たステップ応答および、制御量予測値のうち、まずステップ応答合成手段11では、個々のステップ応答(4)を時間スケールを合わせて合成し、最小サンプリング周期の一本のステップ応答

様子を図6(a)～同(c)を参照して説明する。例えば、4種類のサンプリング周期( $Np=4$ の場合)から推定された4つのモデルのステップ応答が図6(a)に示される $g_1(t) \sim g_4(t)$ のようになった。このとき、重なる部分は線形補間

れたステップ応答 $g(t)$ を求める。このときの各応答

$g_i(t)$  の重み  $\alpha$  の値は、図6 (b) に示されるようになる。

【0024】一方、有効なステップ応答推定値  $g_i(t)$

$$g(t) = ((t_2 - t) g_1(t_1) + (t - t_1) g_2(t_2)) / (t_2 - t_1)$$

これにより、ステップ応答  $g(t)$  を合成する。以上の手順で合成されたステップ応答推定値  $g(t)$  を離散化する

$$g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, \dots, g_{2Np-1} \quad (8)$$

と略記する。なお、多変数系では、 $g_i$  は行列になる。

【0026】次に、制御量予測値合成手段12では、

$$y = [y(t + \tau), y(t + 2\tau), y(t + 4\tau), \dots, y(t + 2^{Np-1}\tau)]^T \quad (9)$$

を作成する。ここで、 $\tau$  は転値を表す。これは、図2に示すような、制御量予測応答を等対数間隔でサンプリングしたのになっている。

$$y^* = [y^*(t + \tau), y^*(t + 2\tau), y^*(t + 4\tau), \dots, y^*(t + 2^{Np-1}\tau)]^T \quad (10)$$

を生成する。ここで、 $\tau$  は転値を表す。

【0028】具体的には、例えば適当な時定数  $T$  を与

$$y^*(t + 2^{i-1}\tau) = y(t) + (r(t) - y(t)) \cdot (1 - \exp(-2^{i-1}\tau/T)) \quad (11)$$

より求める。ここで、 $i = 1, \dots, Np$ 、 $t$  は現在時刻である。なお、多変数系では、 $y$  および  $y^*$  の各要素は縦ベクトルになり、全体も縦ベクトルになる。

$$\Delta u = [\Delta u(t), \Delta u(t + \tau), \dots, \Delta u(t + 2^{Np-1}\tau)]^T \quad (12)$$

を、以下の制御演算式で算出する。

$$\Delta u = [G^T \Gamma^T \Gamma G + \Lambda^T \Lambda]^{-1} G^T \Gamma^T \Gamma (y^* - y) \quad (13)$$

ただし、

$$\Gamma = \text{diag} [\gamma(1), \gamma(2), \dots, \gamma(Np)]$$

$$\Lambda = \text{diag} [\lambda(1), \lambda(2), \dots, \lambda(Nu)]$$

$$G = \begin{bmatrix} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ g_2 & g_1 & 0 & \dots & 0 \\ g_4 & g_3 & g_2 & 0 & \dots & 0 \\ g_8 & g_7 & g_6 & g_5 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{2Np-1} & g_{2Np-2} & \dots & g_{2Np-2} & g_{2Np-3} & \dots & g_{2Np-2} \end{bmatrix} \quad \text{Np行Nu+1列行列} \quad (14)$$

である。

【0031】なお、 $q$  入力  $p$  出力多変数系の場合は、 $\Gamma = \text{block} \cdot \text{diag} [\gamma(1)I_p, \gamma(2)I_p, \dots, \gamma(Np)I_p]$

$\Lambda = \text{block} \cdot \text{diag} [\lambda(1)I_q, \lambda(2)I_q, \dots, \lambda(Np)I_q]$

$$u(t) = u(t - \tau) + \Delta u(t) \quad (15)$$

なる演算により、最適操作量  $u(t)$  を算出して、プロセスへ出力する。こうして、適応型モデル予測制御がなされる。

が間欠的である場合、すなわち、図7に示されるように  $g_1(t)$  と  $g_2(t)$  とが離れて、両者の間に空白の部分が生じたときは、例えば線形補間により内挿する。

ことにより、(7) 式のステップ応答系列が得られる。

【0025】以下、このステップ応答を

(6) 式から得られた等対数間隔の制御量予測値を並べ、予測ベクトル

【0027】同時に、未来目標値生成部15では、最終目標値  $r(t)$  を受けて、そこまで制御量を追従させるための等対数間隔の未来目標値軌道

【0029】次に、最適操作量算出手段13では、次の演算により評価関数(2)式を最小化する最適操作量ベクトル

ここで、 $I_p$  は  $p \times p$ 、 $I_q$  は  $q \times q$  の単位行列である。行列  $G$  は各要素が  $p \times q$  行列であるサイズ  $Np \cdot p \times (Nu + 1) \cdot q$  のブロック行列になる。

【0032】最後に、積分器14では、(13) 式により求められた最適操作量ベクトルのうち、第1要素  $\Delta u(t)$  のみを取り出し、

【0033】本手法の有効性を示すべく、図4に示されたステップ応答を示す制御対象に本手法を適用した結果を図8 (a) 及び同 (b) に示す。図4に示される制御

対象は前述したように速いモードと遅いモード度とが混在した複雑なプロセスである。この制御対象について、図8(a)に点線で示されるように値が矩形波状に変化する目標値の曲線が与えられると、本願の適応型モデル予測制御装置は同図(b)に示されるように操作量 $u(i)$ を与える。この結果、制御量 $y(i)$ は、同図(a)に点線で示される矩形波状の目標値変化に対して同図に実線で示されるように良好に追従する。

【0034】なお、本願の請求の範囲記載の構成においては、第1及び第2同定手段を用いているが、両者の機能を果たす単一の同定手段を用いても同じである。第1及び第2ステップ応答算出手段を用いているが、両者の機能を果たす単一のステップ応答算出手段を用いても同じである。第1及び第2ステップ応答算出手段を用いているが、両者の機能を果たす単一のステップ応答算出手段を用いても同じである。第1及び第2制御量予測手段を用いているが、両者の機能を果たす単一の制御量予測手段を用いても同じである。これらの手段は、公知のコンピュータ処理のアルゴリズムによって実現出来る。更に、本願の実施例は勿論のこと、少なくとも本願の発明の要旨を含む技術的な構成は、本願の権利が及ぶものである。

【0035】また、本発明の適応型モデル予測制御装置は、例えば特願平2-17527号に示した制御条件を考慮したモデル予測制御方式にも同様に適用できるものである。

【0036】また、本発明の適応型モデル予測制御装置には、例えば特願平3-75333号に示したマンマシンインタフェースを有することも可能である。

【0037】また、多変数系では、時定数の短いループと長いループを同時に考慮した制御系を容易に実現できる利点がある。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように本発明の適応型モデル予測制御方式は、異なるサンプリング周期によるデータ系列によって同定された複数の動的モデルを用い、これ等動的モデル各々を用いて得られる予測出力やステップ応答を結合してより広い範囲に亘る予測出力やステップ応答を得、この広い範囲の予測出力やステップ応答を用いて最適制御量を演算するので与えられた目標値の変化に素早く追従し、しかもハンチングの少ない良好な応

答特性が得られる。また、各サンプリング周期が対数で表される時間軸上において等間隔になるように選定することにより、比較的少ない制御演算量で広範囲に亘る精度の良い制御量予測が可能となる。更に、従来の単一のサンプリング周期によるモデル同定の場合には、制御系始動の際のサンプリング周期の選定がこれにより同定されるモデルの特性に大きな影響を与えるために慎重を要したが、本発明では予測範囲が広いので複数のサンプリング周期を大まかに定めても始動時から良好な制御を期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の適応型モデル予測制御装置の構成図。

【図2】本発明の予測区間を示すグラフ。

【図3】従来のモデル予測制御装置の構成図。

【図4】ステップ応答の例を示すグラフ。

【図5】異なるサンプリング周期のデータによって同定されたモデルの予測ステップ応答を示すグラフ。

【図6】ステップ応答が重複する場合の合成方法を説明する説明図。

【図7】ステップ応答が離間する場合の合成方法を説明する説明図。

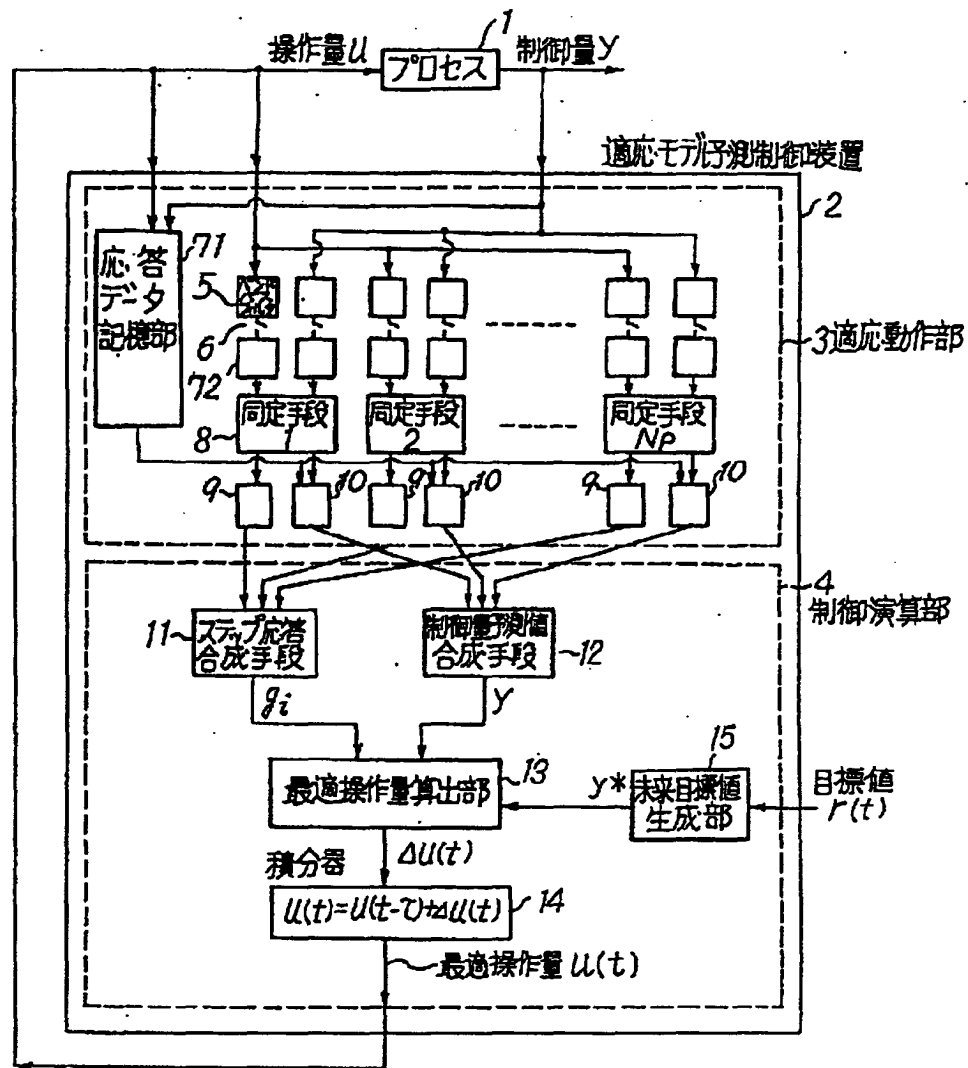
【図8】本願の適応型モデル予測制御装置の効果を説明するグラフ。

【符号の説明】

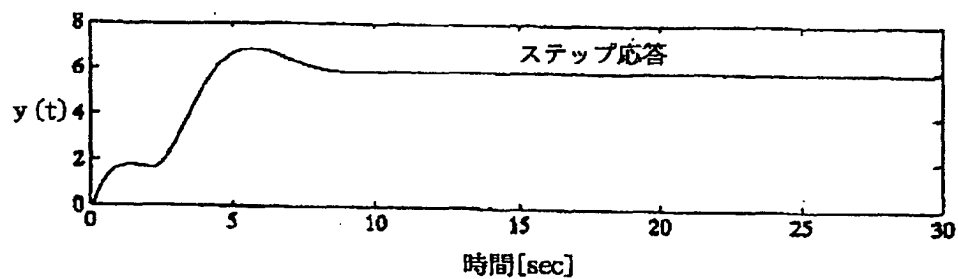
- 1 制御対象
- 2 モデル予測制御装置
- 3 適応動作部
- 4 制御演算部
- 5 バンドパスフィルタ
- 6 サンプラ
- 7 応答データ記憶部
- 8 同定手段
- 9 ステップ応答算出手段
- 10 制御量予測手段
- 11 ステップ応答合成手段
- 12 制御量予測値合成手段
- 13 最適操作量算出手段
- 14 積分器
- 15 未来目標値生成部
- 16 減算器



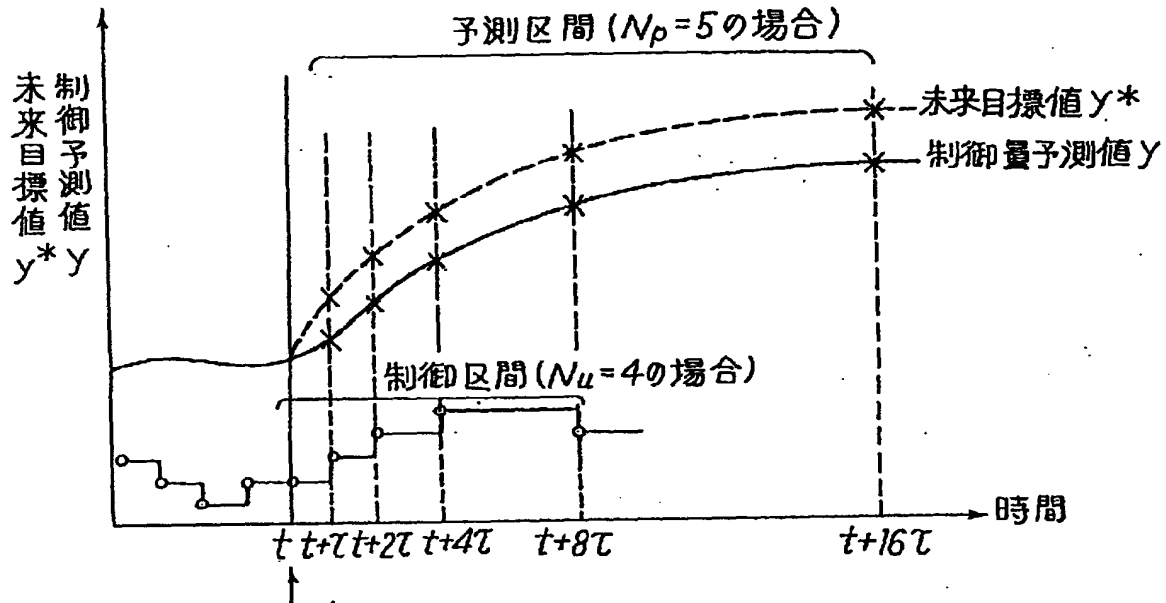
【図1】



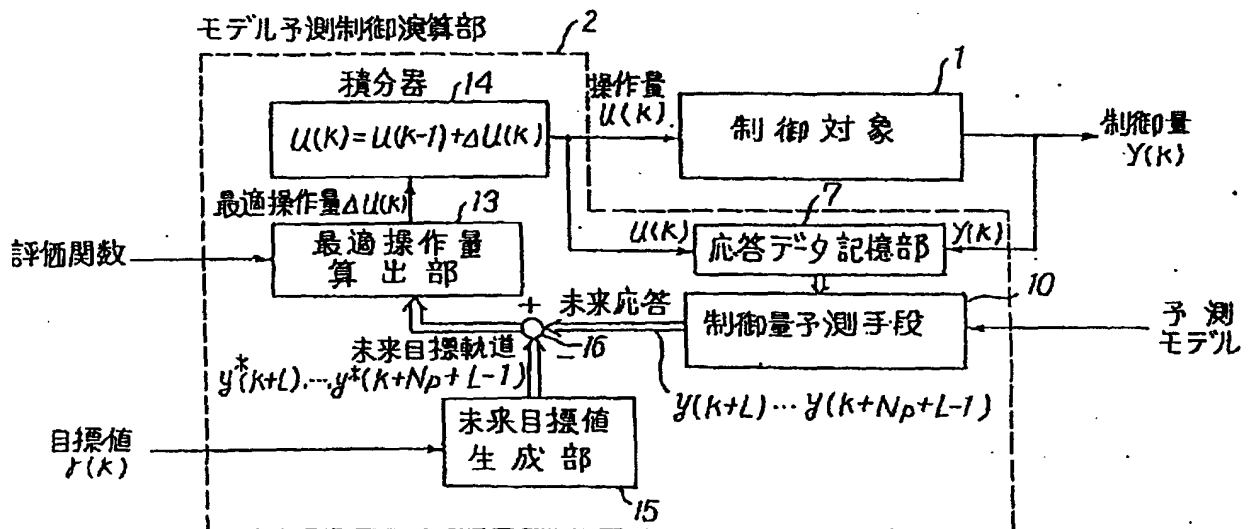
【図4】



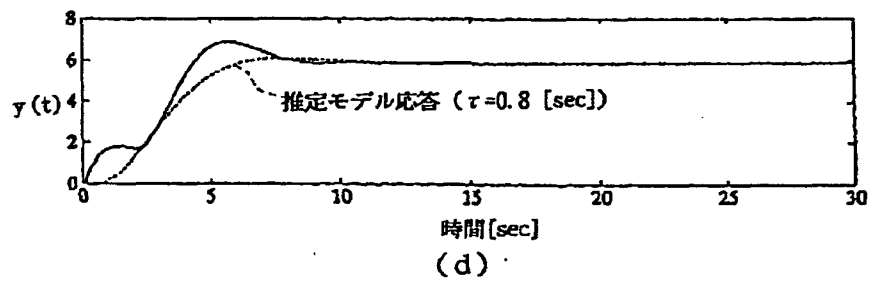
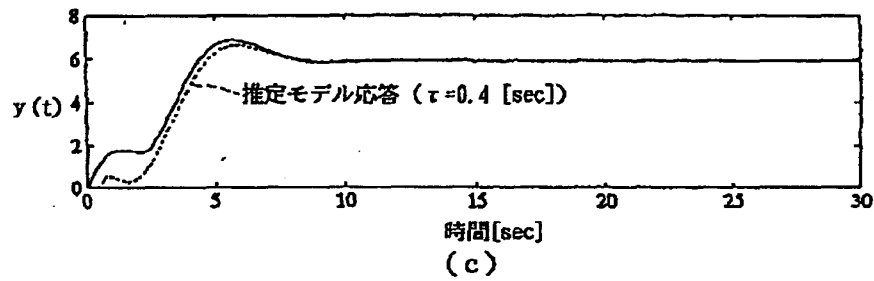
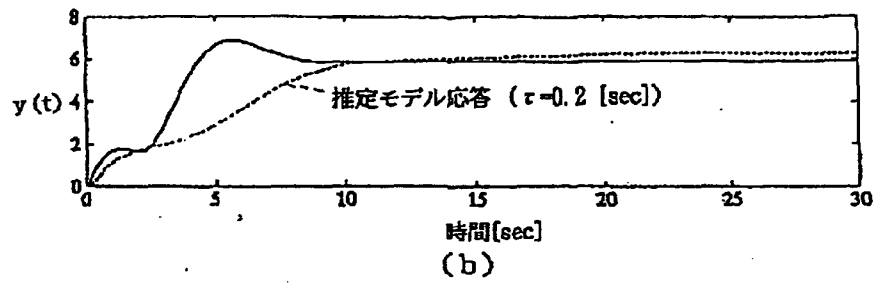
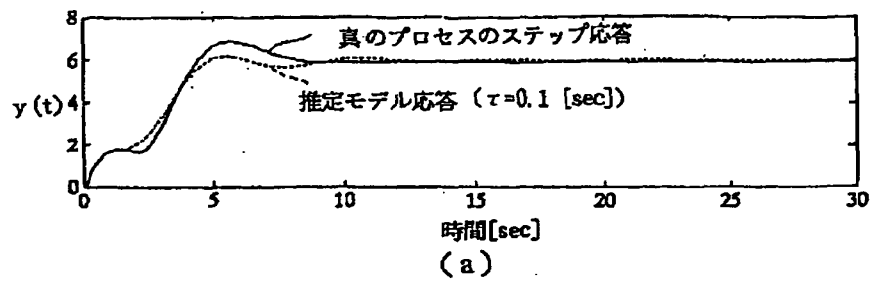
【図2】



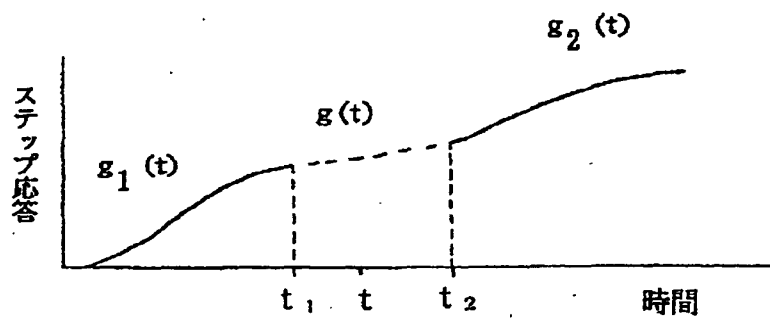
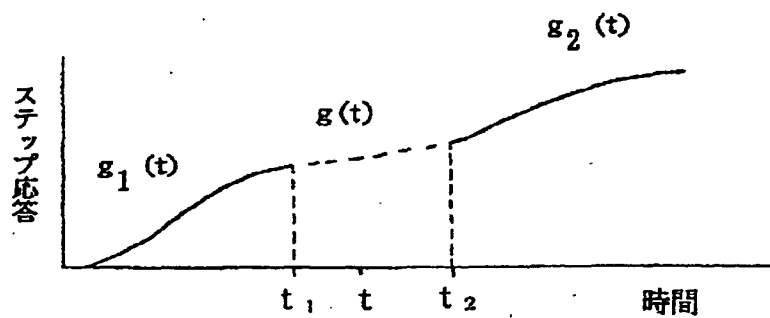
【図3】



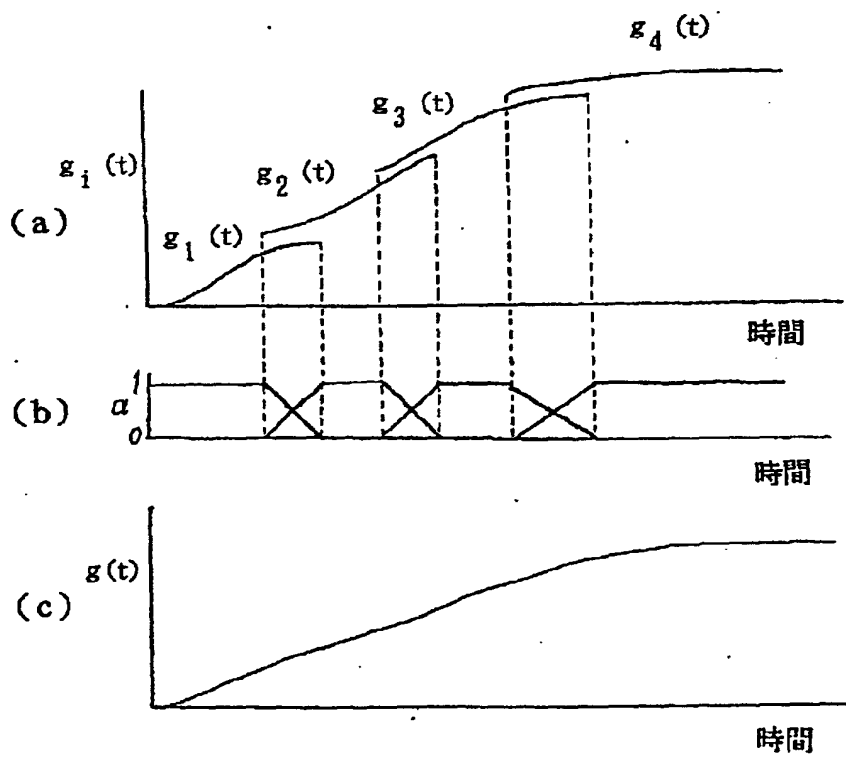
【図5】



【図7】



【図6】



【図8】

